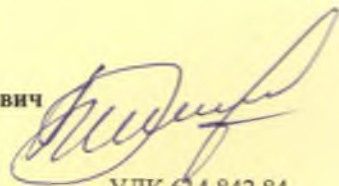


ПРИСЯЖНЮК Віталій В'ячеславович



УДК 614.842.84

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ З ВИКОРИСТАННЯМ  
ПЕРЕНОСНОГО ЗАСОБУ ДИМО- ТА ТЕПЛОВИДАЛЕННЯ**

21.06.02 – пожежна безпека

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту Державної служби України з надзвичайних ситуацій (м. Київ).

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**НІЖНИК Вадим Васильович**,  
Інститут державного управління та наукових досліджень з  
цивільного захисту,  
начальник науково-дослідного центру протипожежного  
захисту

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**СТРІЛЕЦЬ Віктор Маркович**,  
Національний університет цивільного захисту України,  
старший викладач кафедри автоматичних систем безпеки та  
інформаційних технологій

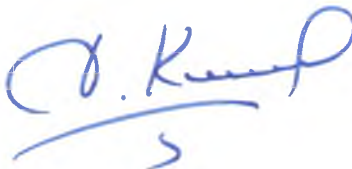
кандидат технічних наук, доцент  
**ЛУЩ Василь Іванович**,  
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,  
начальник кафедри пожежної тактики та аварійно-  
рятувальних робіт

Захист відбудеться «01» лютого 2024 року о 14:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.874.01 у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності за адресою: 79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Львівського державного університету безпеки життєдіяльності за адресою: вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007, а також на сайті спеціалізованої вченої ради Д 35.874.01, за електронною адресою: <https://ldubgd.edu.ua/content/zahisti-disertaciy-2>.

Автореферат розісланий «22» грудня 2023 року

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
кандидат технічних наук



Дмитро КОБИЛКІН

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Результати аналізу статистичних даних про пожежі за останні п'ять років свідчить, що кожного року близько 40 % пожеж у будівлях та спорудах супроводжувались сильним задимленням. Ефективним тактичним прийомом зменшення задимленості на пожежі та відповідно зниження впливу небезпечних чинників пожежі на особовий склад пожежно-рятувальних підрозділів є керування газодимовими потоками пожежі за допомогою переносних засобів димо- та тепловидалення.

Статистичні дані свідчать про відносно низький рівень застосування сучасних переносних засобів димо- та тепловидалення під час ліквідації пожеж, однією з причин цього є їх недостатня продуктивність. Як свідчить практичний досвід, для забезпечення сприятливих умов проведення пожежно-рятувальних робіт під час ліквідації пожеж у будинках та спорудах доцільно використовувати переносні засоби димо- та тепловидалення з продуктивністю не менше 11 000 м<sup>3</sup>/год.

Найбільш поширеним способом димо- та тепловидалення є використання переносних засобів з функцією нагнітання повітря у задимлену або загазовану зону. Важливим показником для переносних пристроїв є збільшення, так званої тактичної продуктивності, тобто показника витрати повітря з одиниці маси засобу. Основним його параметром є продуктивність нагнітання повітря 11 000... 24 000 м<sup>3</sup>/год, але необхідну величину продуктивності переносного засобу димо- та тепловидалення удосконаленням його конструктивних елементів науково не обґрунтовано.

Питаннями проектування, обґрунтування параметрів засобів димо- та тепловидалення займалися такі відомі вчені Брусиловський І.В., Черкаський В.М., Бак О.І., William L., Jackman R., Konz L. та інші. Дослідженням процесів теплообміну, димоутворення та осадження продуктів горіння і зниження температури в приміщеннях займалися Ковалишин В.В., Луц В.І., Гуліда Е.М., Ніжник В.В., Баланюк В.М., Лазаренко О.В., Штангерет Н.О. та інші. Проте в їх роботах поза увагою залишилися питання щодо обґрунтування технічних параметрів, спрямованих на підвищення ефективності гасіння пожеж з використанням переносних засобів димо- та тепловидалення на практиці.

Таким чином, наукові дослідження, які спрямовані на підвищення ефективності гасіння пожеж з використанням переносних засобів димо- та тепловидалення шляхом розкриття залежності продуктивності переносних засобів димо- та тепловидалення від теплофізичних параметрів димогазових середовищ та відповідно особливостей конструкційних параметрів їх елементів, що є науковим підґрунтям для підвищення ефективності димо- та тепловидалення на пожежах за допомогою таких засобів є актуальною науково-технічною задачею.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано відповідно до пріоритетних напрямів наукових досліджень ІДУ НД ЦЗ та під час виконання заходів, передбачених розпорядженням Кабінету Міністрів України від 25.01.2017 р., № 61-р Про схвалення Стратегії реформування

системи Державної служби України з надзвичайних ситуацій в рамках нарощування матеріально-технічної бази сил цивільного захисту та їх технічного переоснащення сучасною технікою; і науково-дослідної роботи “Провести дослідження та розробити рекомендації щодо застосування переносних засобів димо- та тепловидалення для підвищення ефективності гасіння пожеж” (державний реєстраційний №0118U004738) на замовлення Департаменту реагування на надзвичайні ситуації ДСНС, в якій здобувач виступав у якості виконавця, досліджень з удосконалення технічних характеристик переносного засобу димо- та тепловидалення, що підтверджуються відповідним звітом про науково-дослідну роботу.

**Мета і завдання дослідження.** Мета роботи полягає у розкритті залежностей продуктивності переносних засобів димо- та тепловидалення від теплофізичних параметрів димогазових середовищ та відповідно особливостей конструкційних параметрів їх елементів, що є науковим підґрунтям для підвищення ефективності димо- та тепловидалення на пожежах за допомогою таких засобів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1) проаналізувати сучасний стан технічного розвитку переносних засобів димо- та тепловидалення;

2) встановити конструктивні параметри елементів переносних засобів димо- та тепловидалення, які впливають на ефективність видалення газоподібних, аерозольових продуктів згоряння і теплоти пожежі із зони проведення пожежно-рятувальних робіт;

3) побудувати математичну модель для дослідження залежності продуктивності від конструктивних параметрів елементів переносних засобів димо- та тепловидалення;

4) встановити залежність продуктивності від конструктивних параметрів елементів переносних засобів димо- та тепловидалення;

5) розробити програму та методику проведення експериментальних досліджень залежності продуктивності від конструктивних параметрів елементів переносних засобів димо- та тепловидалення та провести експериментальні дослідження;

6) обґрунтувати удосконалені конструкційні параметри елементів переносних засобів димо- та тепловидалення.

**Об’єкт дослідження** – процеси димо- та тепловидалення під час пожежі із приміщень та будівель переносними засобами димо- та тепловидалення.

**Предмет дослідження** – залежність продуктивності переносних засобів димо- та тепловидалення від конструкційних параметрів їх елементів.

**Методи дослідження.** В роботі використано комплексний метод досліджень, який включав: аналізування довідкових даних, технічних характеристик, умов застосування, нормативно-технічних документів та патентів, методів їх моделювання, а також способів та прийомів застосування переносних засобів димо- та тепловидалення; експериментальні дослідження з визначення зниження задимленості та температури під час застосування засобу димо- та тепловидалення; метод прямого вимірювання швидкості повітряного потоку; методи математичного

моделювання для обґрунтування конструктивних параметрів елементів переносного засобу димо- та тепловидалення, які забезпечують максимальну продуктивність такого засобу; метод аналізування на наявність викидів та квазивикидів у результатах досліджень (Граббса); метод планування експерименту (повнофакторний експеримент); методи статистики для оброблення результатів експериментальних досліджень.

**Ідея роботи** полягає в підвищенні ефективності гасіння пожеж з використанням переносних засобів димо- та тепловидалення шляхом удосконалення їх конструктивних параметрів елементів.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у встановленні умов та закономірностей підвищення продуктивності переносних засобів димо- та тепловидалення залежно від теплофізичних параметрів димогазових середовищ, що є науковим підґрунтям для підвищення ефективності димо- та тепловидалення на пожежах за допомогою таких засобів.

При цьому *уперше*:

- встановлено, що продуктивність  $Q$  досліджуваного переносного засобу димо- та тепловидалення від кута нахилу профіля лопаті  $\beta$  та площі поверхні робочого колеса вентилятора  $S$  має вигляд двофакторної регресійної моделі:

$$Q(\beta, S) = -56,17 + 15930 \cdot \beta + 81830 \cdot S - 7840 \cdot \beta^2 - 203000 \cdot S^2 - 33040 \cdot \beta \cdot S;$$

- експериментальним шляхом виявлено і формалізовано у вигляді регресійної поліноміальної залежності зміни динаміки задимленості  $\Theta(I)$  та температури  $\Theta(T)$  в часі у разі використання удосконаленого переносного засобу димо- та тепловидалення, які мають вигляд:  $\Theta(I) = 0,337 - 0,0877\tau - 0,00696 \tau^2 - 0,00014\tau^3$ ;  $\Theta(T) = 222,2 + 52,7\tau - 2,6 \tau^2 + 0,028\tau^3$ . При цьому встановлено, що за однакових умов проведення експериментальних досліджень щодо зниження концентрації диму/та величини температури за певний проміжок часу, у приміщенні з використанням удосконаленого переносного засобу димо- та тепловидалення в 2,2-2,85 рази ефективніше за існуючий засіб.

- обґрунтовано конструкційні параметри елементів переносних засобів димо- та тепловидалення, які забезпечили підвищення максимальної продуктивності, а саме: кут нахилу лопатей вентилятора 0,71 рад, площа поверхні робочого колеса вентилятора 0,143 м<sup>2</sup>.

*Удосконалено:*

- випробувальну базу для оцінювання основних показників якості переносних засобів димо- та тепловидалення таких, як продуктивність та тривалість димо- та тепловидалення.

*Набули подальшого розвитку:*

- тактичні прийоми застосування переносних засобів димо- та тепловидалення під час гасіння пожеж у будинках та спорудах, які вперше відображені в розроблених Рекомендаціях щодо застосування переносних засобів димо- та тепловидалення.

**Практичне значення одержаних результатів.** Практична цінність досліджень полягає у розробленні рекомендацій щодо застосування переносних засобів димо- та тепловидалення як наукового підґрунтя підвищення ефективності використання таких засобів пожежно-рятувальними підрозділами.

Результати проведених досліджень впроваджені у практичну діяльність компанії ТОВ ПК «ПОЖМАШИНА», головним напрямом якої є проектування та розроблення пожежно-рятувальної техніки та пожежного обладнання для пожежно-рятувальних підрозділів ДСНС України (акт від 11.01.2023), а також науково-випробувального центру ІДУ НД ЦЗ у сфері проведення випробувань продукції протипожежного призначення (акт від 09.02.2023). Результати проведених досліджень також впроваджені у діяльність Департаменту реагування на надзвичайні ситуації ДСНС (акт від 24.02.2023) та в освітній процес Черкаського інституту пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України за освітньо-професійною програмою «Пожежна безпека» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти галузі знань 26 «Цивільна безпека» спеціальності 261 «Пожежна безпека» та 263 «Цивільна безпека» під час вивчення дисциплін «Пожежна тактика», «Ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій та гасіння пожеж» та «Протипожежна та аварійно-рятувальна техніка» (акт від 27.04.2023).

За результатами роботи розроблено рекомендації щодо застосування переносних засобів димо- та тепловидалення, які погоджені листом Департаменту реагування на надзвичайні ситуації ДСНС від 20.08.2019 № 17-754/172 та надіслані листом від 18.10.2019 № 93/17-1437 до територіальних підрозділів ДСНС України в областях та м. Києві для застосування у практичній діяльності.

**Особистий внесок здобувача.** Усі наукові положення, теоретичні та практичні результати, що винесені на захист і наведені в дисертації, одержано здобувачем особисто. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачем особисто: [1] встановлено залежність продуктивності переносних засобів димо- та тепловидалення від інших технічних характеристик; [2] проведено розрахунок економічного ефекту від впровадження у практичну діяльність удосконаленого переносного засобу димо- та тепловидалення; [3] досліджено ефективність застосування дослідного зразка ручного пожежного ствола РСД-2 із різними видами струменів вогнегасних речовин; [4] проаналізовано можливість застосування прикладної комп'ютерної програми "EZ Data Logger" для підвищення якості експериментальних досліджень; [5] проаналізовано сучасний стан парку пожежно-рятувальної техніки в Україні та ефективність її використання; [6] розроблено математичну модель для обґрунтування геометричних характеристик переносних засобів димо- та тепловидалення; [7] розглянуто параметри переносних засобів димо- та тепловидалення, що характеризують ефективність їх застосування; [8] розроблено методика експериментальних досліджень переносних засобів димо- та тепловидалення; [9] проведено експериментальні дослідження переносних засобів димо- та тепловидалення; [10] обґрунтовано удосконалені технічні характеристики переносного засобу димо- та тепловидалення; [11] розроблено рекомендації щодо застосування переносних засобів димо- та тепловидалення; [12] обґрунтовано технічні рішення для подальшого захисту об'єкта права інтелектуальної власності; [13] обґрунтовано технічні параметри переносних засобів димо- та тепловидалення; [14] науково обґрунтовано рекомендації щодо застосування переносних засобів димо- та тепловидалення; [15] досліджено основні тактичні прийоми із застосуванням переносних засобів димо- та

тепловидалення; [16] наведено експериментальні дослідження переносного засобу димо- та тепловидалення з визначення коефіцієнта зменшення задимленості; [17] обґрунтовано сценарії проведення експериментальних досліджень переносних засобів димо- та тепловидалення; [18] наведено основні підходи до математичного моделювання технічних параметрів засобів димо- та тепловидалення; [19] проведено аналіз сучасного стану застосування переносних засобів димо- та тепловидалення пожежно-рятувальними підрозділами; [20] проведено аналітичні дослідження щодо застосування переносних засобів димо- та тепловидалення.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати досліджень доповідалися, обговорювалися й отримали позитивне схвалення на 6-ти національних наукових конференціях з міжнародною участю, а саме: XVII Міжнародний виставковий форум “Технології захисту/ПожТех – 2018”, 20 Всеукраїнської науково-практичної конференції “Сучасний стан цивільного захисту та перспективи розвитку” (м. Київ, 9-10 жовтня 2018 р.); X Міжнародна науково-практична конференція “Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій” (м. Черкаси: Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, 11-12 квітня 2019 р.); 21 Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю, XVIII Міжнародна спеціалізована виставка “Технології захисту/ПожТех – 2019”, “Розвиток цивільного захисту в сучасних безпекових умовах” (м. Київ, 8-9 жовтня 2019 р.); IX Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю “Надзвичайні ситуації: безпека та захист” (м. Черкаси: Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, 24-25 жовтня 2019 р.); XIV Міжнародна науково-практична конференція “Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій” (м. Черкаси: Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, 27 квітня 2023 р.); II Міжнародна наукова конференція. “Наукові відкриття та фундаментальні наукові дослідження: Світовий досвід” (м. Вінниця, 5 травня 2023 р.)

**Публікації.** Основні положення дисертаційної роботи знайшли відображення у 20 наукових працях, із них: статей, що індексуються в міжнародних наукометричних базах (МНБ) Web of Science – Emerging Sources Citation Index (ESCI), The European Reference Index for the Humanities and the Social Sciences (ERIH PLUS), Cross Ref, EBSCO, Index Copernicus, Google Scholar, Scientific Indexing Service – 2; статей у спеціалізованих наукових фахових виданнях України – 9; публікацій за матеріалами конференцій – 6; патент на корисну модель – 1; інші публікації – 2.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел (144 найменування) і 5 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 198 сторінок, із них 122 сторінки основного тексту, 64 рисунки та 14 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, її зв'язок з науковими програмами та планами, визначено мету, завдання, об'єкт і предмет досліджень, сформульовано наукову новизну та практичну значимість одержаних результатів, наведено відомості про апробацію та публікацію результатів досліджень.

У першому розділі проаналізовано сучасний стан, способи та прийоми застосування, а також нормативно-технічні документи і патенти на винаходи та корисні моделі щодо засобів димо- та тепловидалення провідних країн світу. Здійснено аналіз методів моделювання, що можуть використовуватись при побудові математичної моделі для обґрунтування конструктивних параметрів елементів переносного засобу димо- та тепловидалення, які забезпечать максимальну продуктивність такого засобу.

На підставі статистичних даних за останні п'ять років про пожежі у будівлях та спорудах, а також інформації про застосування за цей період переносних засобів димо- та тепловидалення пожежно-рятувальними підрозділами України (рис. 1) встановлено необхідність проведення відповідних наукових досліджень, спрямованих на підвищення ефективності їх застосування на практиці.



Рисунок 1 – Кількість пожеж в Україні та застосування переносних засобів димо- та тепловидалення у період з 2018 по 2022 роки

За результатами аналізу літературних джерел відзначено, що в розглянутих роботах недостатньо досліджені конструктивні параметри елементів переносних засобів димо- та тепловидалення, які впливають на продуктивність таких засобів.

Зазначено, що у роботах вчених, присвячених питанням осадження продуктів згоряння, зниження температури та збільшення видимості в задимлених приміщеннях недостатньо досліджувалися питання підвищення ефективності гасіння пожеж з використанням переносних засобів димо- та тепловидалення шляхом удосконалення їх конструктивних параметрів для підвищення продуктивності нагнітання повітря.



Отже, встановлено необхідність проведення досліджень, спрямованих на розкриття залежності продуктивності переносних засобів димо- та тепловидалення від теплофізичних параметрів димогазових середовищ та відповідно особливостей конструкційних параметрів їх елементів, як наукового підґрунтя для підвищення ефективності гасіння пожеж з використанням таких засобів.

У **другому розділі** встановлено перелік конструктивних параметрів елементів переносних засобів димо- та тепловидалення, які впливають на продуктивність, а саме: кут нахилу лопатей вентилятора та площа поверхні лопатей робочого колеса вентилятора. Наведено результати математичного моделювання, що дають змогу дослідити залежність продуктивності від конструкційних параметрів елементів переносного засобу димо- та тепловидалення, а саме: впливу кута нахилу лопатей вентилятора та площі поверхні лопатей робочого колеса вентилятору.

Під час побудови математичної моделі використано теорію решітки профілів із такими допущеннями та спрощеннями:

- схема не передбачає наявності напрямного апарату, що відповідає прийнятим початковим умовам під час проектування;
- потік у робочій порожнині насоса вісесиметричний;
- термодинамічний процес, що має місце у порожнині насоса, є ізотермічним (як наслідок невеликих значень змін тиску, характерних для осьового вентилятора);
- кут нахилу хорди лопаті до площини обертання лопатного робочого колеса  $\beta_m$  залежно від радіуса місця перетину решітки лопатей змінюється за законом:

$$r \cdot \operatorname{tg}(\beta_m) = \operatorname{const}, \text{ м} \quad (1)$$

де:  $r$  – радіус у місці перетину решітки лопатей;

$\beta_m$  – кут нахилу хорди лопаті, що змінюється залежно від точки вимірювання.

Користуючись схемою решітки профілів осьового вентилятора (рис. 2), сумісним планом швидкостей та сил (рис. 3) та планом швидкостей решітки робочого колеса (рис. 4), вводили основні кінематичні параметри потоку, що проходить крізь решітку. Силкові характеристики (рис. 5) решітки профілів обчислювалися на основі формул для підйомної сили лопаті:

$$dP_y = c_y \cdot \rho \cdot b \cdot \frac{w^2}{2} \cdot dr; dP_x = c_x \cdot \rho \cdot b \cdot \frac{w^2}{2} \cdot dr \quad (2)$$

де:  $c_y, c_x$  – коефіцієнти підйомної сили та лобового аеродинамічного опору;

$b$  – ширина лопаті, м;

$\rho$  – густина повітря,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;

$dr$  – елемент довжини лопаті, м;

$w$  – швидкість повітря вздовж лопаті, згідно плану швидкостей решітки робочого колеса,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$ .

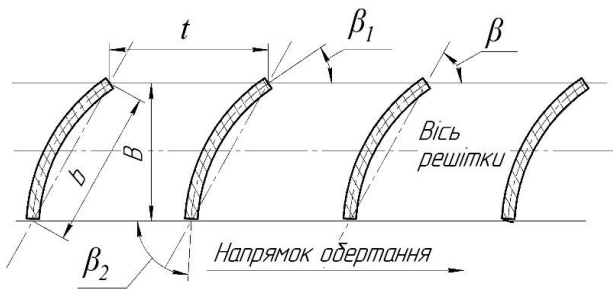


Рисунок 2 – Решітка профілів осевого вентилятора, розгорнута на площину

$b$  – довжина хорди перерізу лопаті;  $t$  – крок лопатей;  $B$  – ширина решітки (розмір паралельної вісі обертання);  $\beta_1, \beta_2$  – відповідно вхідний та вихідний кут лопаті;  $\beta$  – кут нахилу лопаті

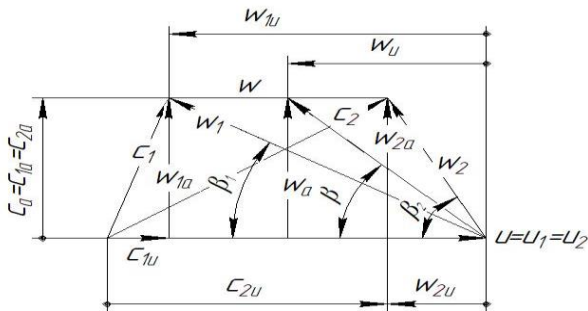


Рисунок 4 – План швидкостей решітки робочого колеса вентилятора

$w_{a1}, w_{a2}$  – осьова складова відносної швидкості відповідно на вході та на виході;  
 $w_{u1}, w_{u2}$  – радіальна складова відносної швидкості відповідно на вході та на виході;  
 $w$  – середня відносна швидкість повітря;  
 $w_1, w_2$  – складові відносної швидкості, осьова та радіальна

У роботі застосовано вираз щодо функціональної залежності між статичним тиском решітки профілів від величини потоку повітря (повітряної суміші) та параметрів вентилятора:

$$p(Q, b, h, \beta) = \dots = \left\{ A \cdot \left[ \operatorname{ctg} \left( \beta - \operatorname{arctg} \left( \frac{2 \cdot h}{b} \right) \right) - \operatorname{ctg} \left( \beta + \operatorname{arctg} \left( \frac{2 \cdot h}{b} \right) \right) \right] \cdot Q - B \cdot Q^2 \right\} \times \dots, \text{ Па} \quad (3)$$

$$\dots \times \frac{1 - \mu \cdot \operatorname{ctg}(\beta - \operatorname{arctg}(C \cdot Q))}{1 + \mu \cdot \operatorname{ctg}(\beta - \operatorname{arctg}(C \cdot Q))};$$

де:  $\mu = 0,03$  – обернена якість профілю;

$Q$  – величина продуктивності або повітряного потоку,  $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ .

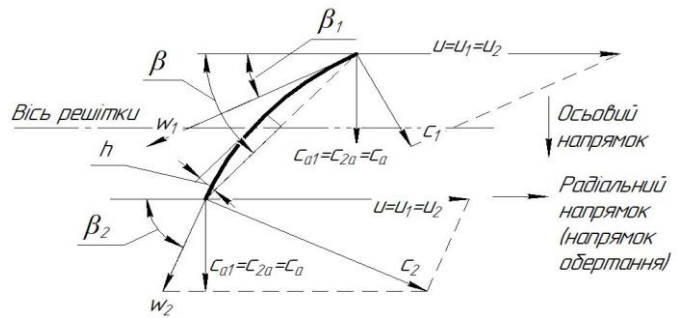


Рисунок 3 – Схема швидкостей потоку навколо профілю лопаті вентилятора

$c_1, c_2$  – абсолютна швидкість відповідно на вході та на виході;  $c_{a1}, c_{a2}$  – осьова складова абсолютної швидкості відповідно на вході та на виході;  $u_1, u_2$  – переносна швидкість відповідно на вході та на виході;  $w_1, w_2$  – відносна швидкість відповідно на вході та на виході;  $h$  – стрілка профілю лопаті

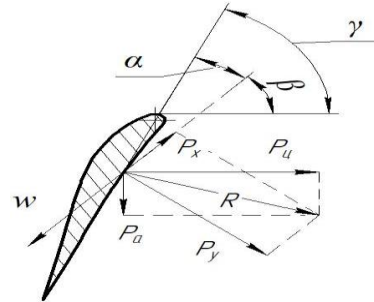


Рисунок 5 – Сили, що діють зі сторони лопаті вентилятора на потік

$\alpha$  – кут входу потоку;  $\gamma$  – середній вхідний кут лопаті;  $\beta$  – кут середньої векторної швидкості потоку;  $w_\infty$  – середня відносна швидкість потоку.  $P_x, P_y$  відповідно сили лобового супротиву та підйомна;  $P_a, P_u$  – відповідно сили, що діють на потік: осьова та радіальна

У виразі (3) використано комплекси: А, В, та С обрані таким чином, що величини, які в них входять, залишаються незмінними.

$$A = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{1+v_h^2}}{D \cdot (\sqrt{1-v_h^2})} \cdot \rho \cdot n, \text{ кг} \cdot \text{м}^{-4} \cdot \text{с}^{-1},$$

$$B = \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{\rho}{D^4 \cdot (1-v_h^2)^2}, \text{ кг} \cdot \text{м}^{-7},$$

$$C = \frac{8}{2 \cdot \pi^2} \cdot \frac{1}{D^3 \cdot (1-v_h^2) \cdot \sqrt{1+v_h^2} \cdot n}, \text{ с} \cdot \text{м}^{-3}.$$
(4)

де: D – зовнішній діаметр лопатей колеса обертання вентилятора, м;  
 ρ – густина повітря (суміші), кг/м<sup>3</sup>;  
 v<sub>h</sub> – відносний діаметр втулки робочого колеса вентилятора.

У роботі досліджено технічні характеристики дослідного зразка переносного засобу димо- та тепловидалення, що за своїми технічними характеристиками відповідає димососу ДПС-7.

Побудована математична модель дає змогу дослідити процес нагнітання повітря (рис. 6) та нагнітання повітря з одночасним подаванням розпиленого струменя води (рис. 7).

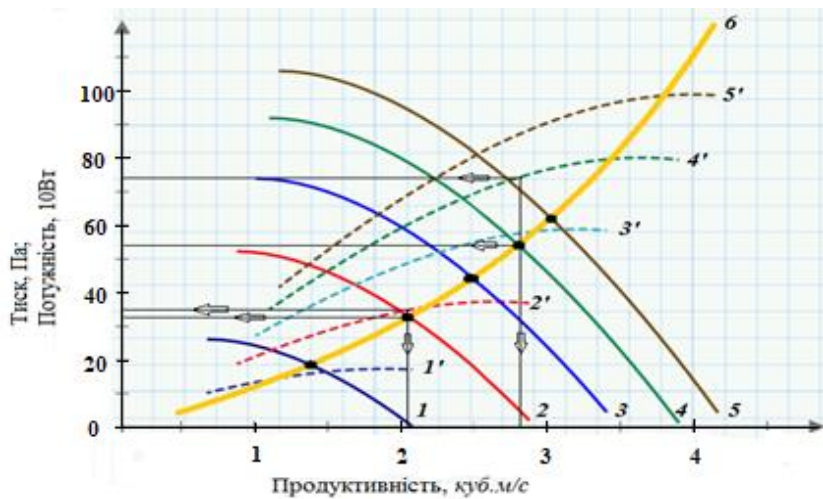


Рисунок 6 – Діаграма для розрахунку продуктивності в умовах нагнітання повітря  
 1, 2, 3, 4, 5 – криві залежностей перепаду тиску від продуктивності для різних кутів установки лопатей вентилятора  
 1', 2', 3', 4', 5' – криві залежностей потужності приводу від продуктивності для різних кутів установки лопатей вентилятора  
 6 – крива опису аеродинамічної характеристики приміщення, обраного для проведення експериментів

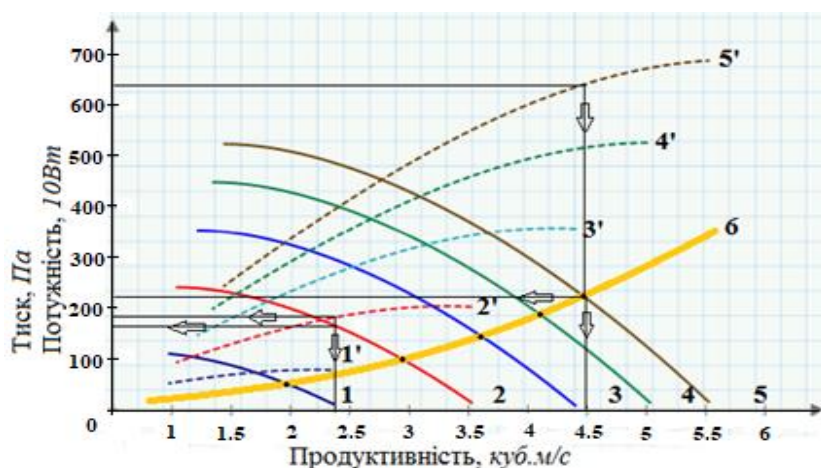


Рисунок 7 – Діаграма для розрахунку продуктивності в умовах одночасного нагнітання повітря та подавання розпиленого струменя води

- 1, 2, 3, 4, 5 – криві залежностей перепаду тиску від продуктивності для різних кутів установки лопатей вентилятора  
 1', 2', 3', 4', 5' – криві залежностей потужності приводу від продуктивності для різних кутів установки лопатей вентилятора  
 6 – крива опису аеродинамічної характеристики приміщення, обраного для проведення експериментів

Задача уточнення оптимальних значень параметрів, отриманих в попередній математичній моделі, була вирішена шляхом побудови імовірнісної математичної моделі на основі експериментальних даних, що дало змогу отримання функції відгуку у вигляді нелінійного рівняння 2-го порядку. У такому випадку прийняте рішення використати метод повнофакторного експерименту, що відноситься до експериментів 2-го порядку.

Вираз для опису поверхні відклику у нормованих змінних має вигляд:

$$Q(X_1, X_2) = a_0 - a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 - a_3 \cdot (X_1^2 - \varphi) - a_4 \cdot (X_2^2 - \varphi) - a_5 \cdot X_1 \cdot X_2, \quad (5)$$

Нормування факторів проводилося за виразом:

$$X_1 = \frac{2 \cdot \beta - \beta_{\min} - \beta_{\max}}{\beta_{\max} - \beta_{\min}}, X_2 = \frac{2 \cdot S - S_{\min} - S_{\max}}{S_{\max} - S_{\min}}, \quad (6)$$

де:  $\beta_{\min}$  та  $\beta_{\max}$  – мінімальний та максимальний кут нахилу лопаті вентилятора;  
 $S_{\min}$  та  $S_{\max}$  – мінімальна та максимальна площа лопаті вентилятора

Таблиця 1 – План повного факторного експерименту

№ дослід	$X_1$	$X_2$	$X_1^2 - \varphi$	$X_2^2 - \varphi$	$X_1 \cdot X_2$	$y$
1	-1	-1	1/3	1/3	+1	$y_1$
2	+1	-1	1/3	1/3	-1	$y_2$
3	-1	+1	1/3	1/3	-1	$y_3$
4	+1	+1	1/3	1/3	+1	$y_4$
5	-1	0	1/3	-2/3	0	$y_5$
6	+1	0	1/3	-2/3	0	$y_6$
7	0	-1	-2/3	1/3	0	$y_7$
8	0	+1	-2/3	1/3	0	$y_8$
9	0	0	-2/3	-2/3	0	$y_9$

Визначено граничні значення фізичних величин обраних факторів. Дані, що отримані, відображені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Робоча матриця планування та результати досліджень

№ дослід-ду	Кут нахилу рад.	Площа м <sup>2</sup>	Продуктивність, 1-й замір, м <sup>3</sup> ·год <sup>-1</sup>	Продуктивність, 2-й замір, м <sup>3</sup> ·год <sup>-1</sup>	Продуктивність, 3-й замір, м <sup>3</sup> ·год <sup>-1</sup>	Продуктивність середня, м <sup>3</sup> ·год <sup>-1</sup>	Незміщена дисперсія вибірки
	$\beta$	$S$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	$Q$	$\sigma^2$
1	0,60	0,0750	9938	10192	10254	10128	28036
2	0,96	0,0750	10480	11659	9895	10678	807327
3	0,60	0,1800	12493	11173	10018	11228	1533675
4	0,96	0,1800	10532	10562	10493	10529	1197
5	0,60	0,1275	10880	12299	10973	11384	630081
6	0,96	0,1275	11008	11042	10893	10981	11008
7	0,78	0,0750	10008	11192	10828	10676	367792
8	0,78	0,1800	10638	11492	11104	11078	182836
9	0,78	0,1275	12495	11223	10698	11472	853803

Відтворюваність результатів проведених дослідів з вимірювання продуктивності, які наведені у таблиці 2, підтверджено на основі критерію Кохрена за формулою (7):

$$G = \frac{\sigma_{\max}^2}{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2} = 0,348 < G_{95\%}(n, m-1) = 0,4775 \quad (7)$$

де:  $m = 3$  – кількість паралельних вимірювань в кожному  $i$ -тому досліді;

$n = 9$  – кількість дослідів;

$G_{95\%}(n, m-1)$  – таблична величина критерію Кохрена, що відповідає довірчій імовірності 95 %.

Після розрахунку коефіцієнтів регресії у виразі поверхні відклику для нормованих факторів та розрахунків згідно виразу (6) отримано значення коефіцієнтів регресії функції відклику у фізичних ( $\beta$ ,  $S$ ) змінних величин факторів.

Таким чином, уперше встановлено, що залежність продуктивності  $Q$  ( $\beta$ ,  $S$ ) переносного засобу димо- та тепловидалення від кута нахилу профіля лопаті ( $\beta$ ) та площі поверхні лопатей робочого колеса ( $S$ ) має вигляд двофакторної регресійної моделі:

$$Q(\beta, S) = -56,17 + 15930 \cdot \beta + 81830 \cdot S - 7840 \cdot \beta^2 - 203000 \cdot S^2 - 33040 \cdot \beta \cdot S \quad (\text{м}^3 \cdot \text{год}^{-1})$$

Для знаходження значень параметрів, що забезпечать максимум продуктивності засобу димо- та тепловидалення, знайдено похідні від двовимірної функції  $Q$  ( $\beta$ ,  $S$ ) за незалежними змінними  $\beta$  та  $S$ :

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q(\beta, S)}{\partial \beta} &= -15679 \cdot \beta - 33042,3 \cdot S + 15931,4 \\ \frac{\partial Q(\beta, S)}{\partial S} &= -33042,3 \cdot \beta - 405986 \cdot S + 81834,5 \end{aligned} \quad (8)$$

Прирівнявши нулю праві частини обох рівнянь, отримали систему рівнянь:

$$\begin{cases} -15679 \cdot \beta - 33042,3 \cdot S + 15931,4 = 0 \\ -33042,3 \cdot \beta + 405986 \cdot S + 81834,5 = 0 \end{cases} \quad (9)$$

Розв'язавши цю систему рівнянь, отримали значення кута профілю лопаті вентилятора та активної площі поверхні лопатей, що забезпечують максимум продуктивності засобу димо- та тепловидалення (рис. 8).

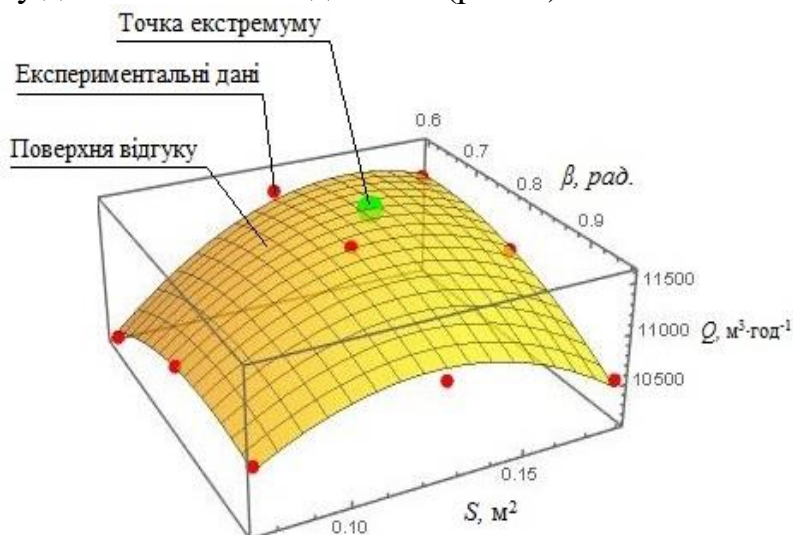


Рисунок 8 – Поверхня залежності продуктивності  $Q(\beta, S)$  переносного засобу димо- та тепловидалення від кута нахилу профілю лопаті ( $\beta$ ) та площі поверхні лопатей робочого колеса ( $S$ )

В результаті розв'язання системи рівнянь отримано конструкційні параметри елементів переносного засобу димо- та тепловидалення, які забезпечують максимальну продуктивність, а саме: кут профілю лопаті вентилятора  $x = 0,71$  рад, що відповідає  $\beta = 41^\circ$ , площа поверхні лопатей робочого колеса  $y = 0,143$  м<sup>2</sup>. Ці значення дають змогу досягти отримати продуктивності 11242 м<sup>3</sup>/год.

У **третьому розділі** представлено результати експериментальних досліджень для перевірки отриманих значень удосконалених параметрів переносного засобу димо- та тепловидалення за максимальною продуктивністю, проведених за попередньо розробленою методикою.

На першому етапі експериментальних досліджень проводились вимірювання продуктивності двох переносних засобів димо- та тепловидалення – існуючого та удосконаленого з кутами профілю лопаті вентилятора  $\beta = 41^\circ$ , площами поверхні лопатей робочого колеса  $y = 0,143$  м<sup>2</sup>.

Під час проведення експериментальних досліджень застосовано метод прямого вимірювання швидкості повітряного потоку, а потім визначено середнє значення продуктивності під час нагнітання повітря  $G_{сер}$ , м<sup>3</sup>/с, за виразом 10:

$$G_{сер} = V_{сер} \cdot F \quad (10)$$

де:  $V_{сер}$  - середня швидкість потоку повітря, м/с;

$F$  - площа поперечного перерізу потоку повітря на виході з вентилятора, м<sup>2</sup>.

За допомогою цифрового анемометра визначено швидкість повітряного потоку. Швидкість повітряного потоку визначали на виході з вентилятора в точках 1 – 3, як показано на рис. 9. Проводили по три заміри швидкості повітря у кожній із трьох точок поперечного перерізу потоку. За результат приймали середнє арифметичне значення вимірювань,  $V_{сер}$ , м/с.

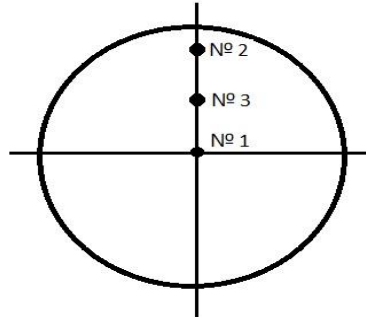


Рисунок 9 – Схема розміщення точок вимірювання швидкості повітряного потоку на виході з вентилятора

1, 2, 3 – точки розміщення цифрового анемометра для вимірювання швидкості повітряного потоку

Результати експериментальних досліджень з визначення продуктивності існуючого та удосконаленого переносних засобів димо- та тепловидалення наведено у таблиці 3. Як видно, продуктивність збільшилася більше ніж у 1,5 рази. Водночас, розбіжність між результатами математичного моделювання та результатами експериментальних досліджень складають 2 %.

Таблиця 3 - Результати експериментальних досліджень

Продуктивність існуючого засобу димо- та тепловидалення, м <sup>3</sup> /год	Продуктивність удосконаленого засобу димо- та тепловидалення, м <sup>3</sup> /год	Різниця у продуктивності, м <sup>3</sup> /год
7460	11 472	4012

На другому етапі експериментальних досліджень оцінено ефективність роботи існуючого та удосконаленого переносних засобів димо- та тепловидалення щодо нормалізації газоповітряного середовища (зменшення задимленості). Також додатково досліджено можливість підвищення ефективності таких засобів одночасним подаванням повітря та розпиленого струменя води. У рамках експериментальних досліджень проведено 9 випробувань (3 – існуючого засобу, 3 – удосконаленого засобу та 3 – удосконаленого засобу з одночасним використанням повітря та води).

Як випробувальне приміщення використовувався випробувальний бокс, зовнішній вигляд якого та схему розташування обладнання в якому наведено на рис. 10.

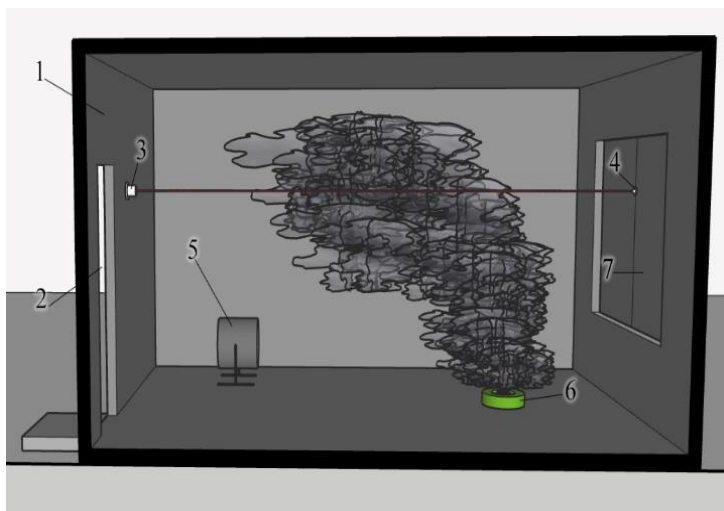


Рисунок 10 – Зовнішній вигляд випробувального боксу та схема розташування обладнання

1 - випробувальний бокс, 2 – дверний проріз, 3 – приймач (фоторезистор),  
4 – лазер, 5 – вентилятор, 6 – димова шашка

Під час проведення вищезазначених досліджень для контрольної точки вимірювання отримано залежності величини електричної напруги на приймачі, що є пропорційною оптичної щільності диму у випробувальному боксі, від проміжку часу видалення диму (як контрольну точку вимірювання електричної напруги обрано рівень розміщення лазерного випромінювача та приймача на висоті 1,7 м від рівня підлоги випробувального боксу). На рис. 11 наведено фото експериментальних досліджень.



Рисунку 11 – Проведення експериментальних досліджень з визначення ефективного зниження задимленості

1– удосконалений засіб; 2 – розпилений струмінь води;  
3 – пожежний рукав; 4 – випробувальний бокс

Динаміка задимленості у випробувальному боксі за часом наведено на рис. 12.



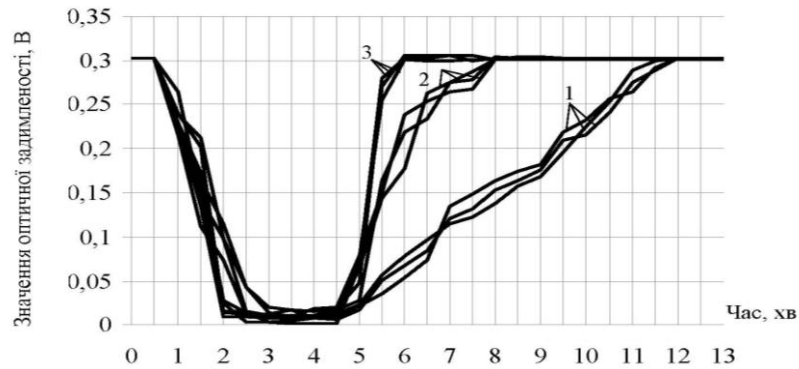


Рисунок 12 – Динаміка задимленості у випробувальному боксі за часом

1 – існуючий засіб; 2 – удосконалений засіб;  
3 – удосконалений засіб з одночасним використанням повітря та води

Зазначену динаміку задимленості  $\Theta(I)$  (B) у випробувальному боксі залежно від часу  $\tau$  (с) можливо максимально наближено описати регресією поліноміальної залежності, яка має вигляд:

$$\Theta(I) = 0,337 - 0,0877\tau - 0,00696\tau^2 - 0,00014\tau^3$$

Отримані дані за кожним окремим експериментом оцінено з використанням статистичного критерію Граббса.

Критерій Граббса використано для визначення наявності в отриманих експериментальних даних викидів та квазівикидів за виразом 11:

$$G_{j\max} = (y_{j\max} - \bar{y}_j) / S_j, \quad G_{j\min} = (\bar{y}_j - y_{j\min}) / S_j \quad (11)$$

де:  $\bar{y}_j$  - середнє значення;  $S_j$  - оцінка середнього квадратичного відхилення;  $y_{j\max}$ ,  $y_{j\min}$  - найбільше та найменше значення результатів випробувань.

Дані щодо оцінки наявності в експериментальних даних викидів та квазівикидів за критерієм Граббса для проведення експериментальних досліджень для існуючого засобу, удосконаленого засобу та удосконалений засобу з одночасним використанням повітря та води наведено на рис. 13.

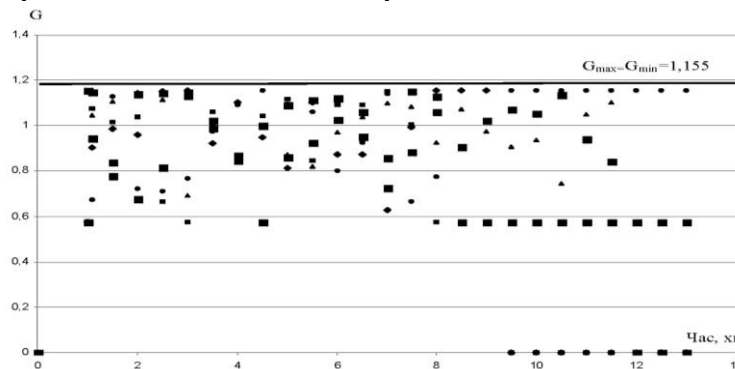


Рисунок 13 – Дані щодо застосування критерію Граббса для оцінки наявності викидів та квазівикидів в результатах експериментальних досліджень з оцінювання зміни задимленості у випробувальному боксі за часом

G – розрахункове значення Граббса  
Час, хв. – тривалість проведення експерименту

Критерій Граббса застосовано для результатів, що отримані для кожної хвилини проведення експериментальних досліджень. У цьому разі критичними значеннями для оцінювання отриманих результатів були  $G_{\max} = G_{\min} = 1,155$ . В цілому за результатами використання критерію Граббса викидів та квазिवикидів у результатах експериментальних досліджень не виявлено.

У роботі уперше встановлено, що за однакових умов проведення експериментальних досліджень зниження концентрації диму у приміщенні досягнуто за такий проміжок часу:

720 с – із використанням існуючого переносного засобу димо- та тепловидалення при нагнітанні повітря;

480 с – із використанням удосконаленого переносного засобу димо- та тепловидалення з нагнітанням повітря;

360 с – із використанням удосконаленого засобу з одночасним нагнітанням повітря та подаванням розпиленого струменя води.

На третьому етапі експериментальних досліджень оцінено ефективність роботи існуючого та удосконаленого переносних засобів димо- та тепловидалення щодо нормалізації температурного середовища (зменшення температури). Також додатково досліджено можливість підвищення ефективності таких засобів одночасним подаванням повітря та розпиленого струменя води. У рамках експериментальних досліджень проведено 9 випробувань (3 – існуючого засобу, 3 – удосконаленого засобу та 3 – удосконаленого засобу з одночасним використанням повітря та води). Зовнішній вигляд випробувального боксу з розташуванням модельних вогнищ пожежі класу В наведено на (рис.14).



Рисунок 14 – Зовнішній вигляд випробувального боксу з розташуванням модельних вогнищ пожежі класу В

- 1 – модельні вогнища пожежі класу В, що розташовані у випробувальному боксі ;  
2 – розташування термоперетворювачів у випробувальному боксі

У випробувальному боксі за допомогою термоперетворювачів реєструвалася температура. Відповідно до розробленої методики експериментальних досліджень через 1,5 хвилини вільного горіння вмикали переносний засіб димо- та тепловидалення, за допомогою якого крізь відчинений дверний отвір здійснювали нагнітання свіжого повітря до випробувального боксу.

В процесі досліджень реєстрували проміжок часу, за який знижується температура у кожній точці встановлення термопар у випробувальному боксі. Проведення експериментальних досліджень наведено на рисунку 15.

За результатами експериментальних досліджень отримано залежності температури від часу роботи існуючого засобу, удосконаленого засобу та удосконаленого засобу з одночасним використанням повітря та води рис.16.

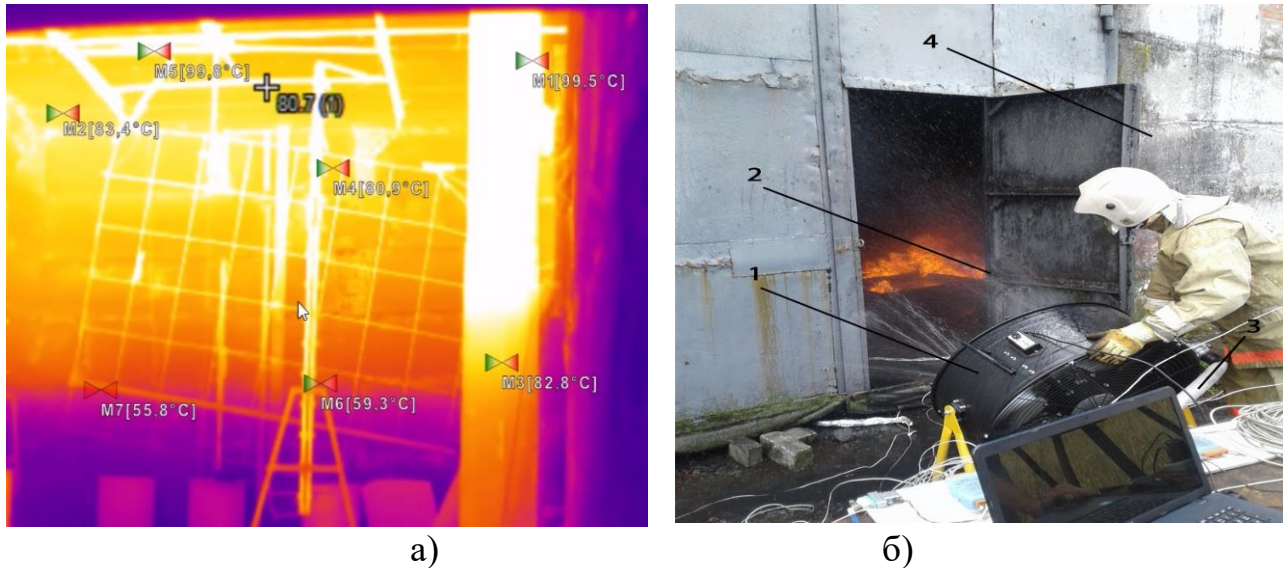


Рисунок 15 – Проведення експериментальних досліджень з визначення ефективного зниження температури

- а) теплова мапа тепловізора в контрольній точці під час досліджень  
 б) дослідження удосконаленого засобу димо- та тепловидалення  
 1– удосконалений засіб; 2 – розпилений струмінь води;  
 3 – пожежний рукав; 4 – випробувальний бокс

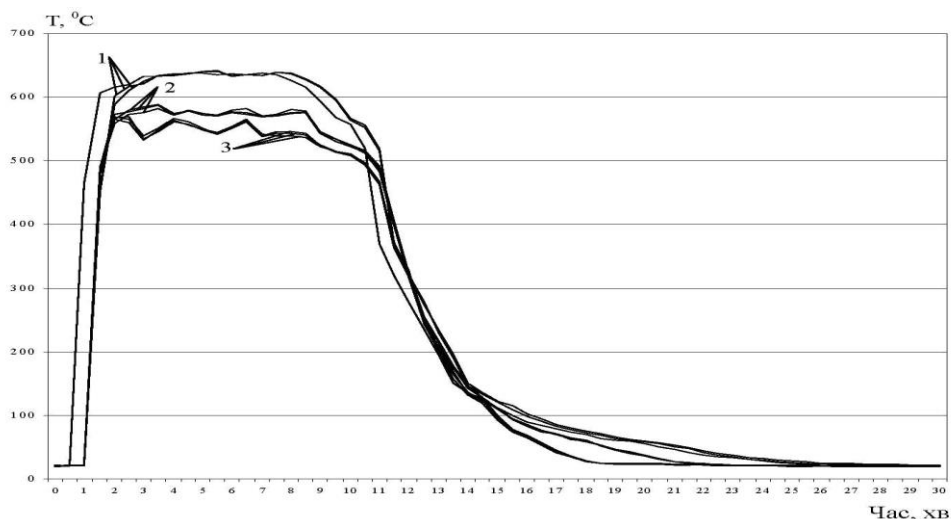


Рисунок 16 – Динаміка температури у випробувальному боксі за часом  
 1– існуючий засіб; 2 – удосконалений засіб;  
 3 – удосконалений засіб із розпиленим струменем води

Зазначену динаміку температури  $\Theta(T)$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) у випробувальному боксі залежно від часу  $\tau$  (с) можливо максимально наближено описати регресією поліноміальної залежності, яка має вигляд:

$$\Theta(T) = 222,2 + 52,7\tau - 2,6\tau^2 + 0,028\tau^3$$

Дані щодо оцінки наявності в експериментальних даних викидів та квазівикидів за критерієм Граббса для проведення експериментальних досліджень існуючого, удосконаленого та удосконаленого переносних засобів димо- та тепловидалення наведені на рис. 17.

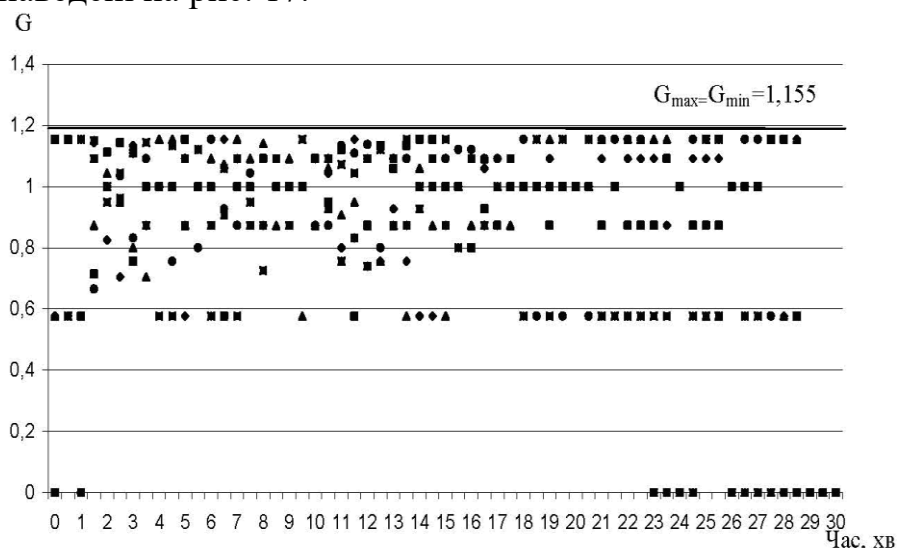


Рисунок 17 – Дані щодо застосування критерію Граббса для оцінки наявності викидів та квазівикидів в результатах експериментальних досліджень з оцінювання температури у випробувальному боксі за часом  
 $G$  – розрахункове значення Граббса  
 Час, хв. – тривалість проведення експерименту

За результатами використання критерію Граббса викидів та квазівикидів у результатах експериментальних досліджень також невиявлено. Також зазначено, що при проведенні аналогічних наукових досліджень слід використовувати вибірки де кількість окремих дослідів є більшою 5.

У роботі уперше встановлено, що за однакових умов проведення експериментальних досліджень нормалізації температурного середовища (зменшення температури) у приміщенні досягнуто за такий проміжок часу:

1560 с – із використанням існуючого переносного засобу димо- та тепловидалення при нагнітанні повітря;

1260 с – із використанням удосконаленого переносного засобу димо- та тепловидалення при нагнітанні повітря;

1020 с – із використанням удосконаленого засобу з одночасним нагнітанням повітря та подаванням розпиленого струменя води.

У четвертому розділі на основі отриманих результатів досліджень обґрунтовано конструкційні параметри елементів переносного засобу димо- та тепловидалення враховуючи різні газові середовища при пожежі, які забезпечують його максимальну продуктивність, а також запропоновано відстані до припливного отвору для виконання примусової конвекції із застосуванням тактичних прийомів переносних засобів димо- та тепловидалення під час гасіння пожеж у будинках та спорудах, які вперше відображені і впроваджені у практичну діяльність пожежно-рятувальних підрозділів ДСНС в розроблених Рекомендаціях щодо застосування переносних засобів димо- та тепловидалення, що сприятиме підвищенню ефективності ліквідації пожеж в умовах видалення газоподібних, аерозольних продуктів згоряння і теплоти пожежі із зони проведення пожежно-рятувальних робіт.

Запропоновані у роботі технічні рішення захищено патентом на корисну модель “Переносний засіб димо- та тепловидалення”, №142725 від 25.06.2020.

Розрахунком визначено, що удосконалений переносний засіб димо- та тепловидалення у порівнянні з існуючим засобом дає можливість досягти ефективності під час гасіння пожежі: врятувати на 18 осіб більше, зменшити нанесення матеріального збитку від пожежі у розмірі 194 тис. грн. та зменшити час видалення небезпечних чинників пожежі до 4 хвилин. Загальна сума ефективності гасіння пожеж може досягти у разі використання удосконаленого переносного засобу димо- та тепловидалення під час гасіння всіх пожеж в Україні, які виникають у будинках та спорудах різного призначення у продовж одного року - 5 млрд 965 млн 500 тис. грн.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, що є завершеним науковим дослідженням, наведено результати вирішення актуального науково-прикладного завдання, що полягає в розкритті залежності продуктивності переносних засобів димо- та тепловидалення від теплофізичних параметрів димогазових середовищ та відповідно особливостей конструкційних параметрів їх елементів із використанням розробленої регресійної математичної моделі, що є науковим підґрунтям для підвищення ефективності димо- та тепловидалення на пожежах за допомогою таких засобів. При цьому одержано такі науково-практичні результати:

1. Встановлено, що характеристики існуючих переносних засобів димо- та тепловидалення не задовольняють потребам пожежно-рятувальних підрозділів та потребують удосконалення для підвищення ефективності гасіння пожеж.

2. Обґрунтовано найбільш значущі параметри, які характеризують ефективність функціонування переносних засобів димо- та тепловидалення – це, насамперед, продуктивність його роботи, яка залежить, в тому числі від таких конструктивних параметрів його елементів, як кут нахилу та площа лопаті робочого колеса вентилятора.

3. Розроблено математичну модель для обґрунтування конструктивних параметрів елементів переносного засобу димо- та тепловидалення, які забезпечують максимальну продуктивність такого засобу.

4. Встановлено, що продуктивність  $Q$  ( $m^3 \cdot год^{-1}$ ) досліджуваного переносного засобу димо- та тепловидалення від кута нахилу профіля лопаті  $\beta$  (рад) та площі поверхні робочого колеса вентилятора  $S$  ( $m^2$ ) має вигляд двофакторної регресійної моделі:

$$Q(\beta, S) = -56,17 + 15930 \cdot \beta + 81830 \cdot S - 7840 \cdot \beta^2 - 203000 \cdot S^2 - 33040 \cdot \beta \cdot S \quad (m^3 \cdot год^{-1})$$

5. Розроблено програму та методику проведення експериментальних досліджень залежності продуктивності від конструктивних параметрів елементів переносних засобів димо- та тепловидалення, проведено відповідні експерименти, у ході яких, зокрема, підтверджено адекватність розробленої моделі. При цьому відхилення між результатами математичного моделювання та результатами експериментальних досліджень склали 2 %.

6. Обґрунтовано конструкційні параметри елементів переносного засобу димо- та тепловидалення, які забезпечують максимальну продуктивність, а саме: кут нахилу лопаті вентилятора 0,71 рад, площа поверхні робочого колеса вентилятора 0,143  $m^2$ .

7. Експериментальним шляхом виявлено і формалізовано у вигляді регресійної поліноміальної залежності зміни динаміки задимленості  $\Theta(I)$  ( $B$ ) та температури  $\Theta(T)$  ( $^{\circ}C$ ) в часі  $\tau$  ( $c$ ) у разі використання удосконаленого переносного засобу димо- та тепловидалення, які мають вигляд:  $\Theta(I) = 0,337 - 0,0877\tau - 0,00696\tau^2 - 0,00014\tau^3$ ;  $\Theta(T) = 222,2 + 52,7\tau - 2,6\tau^2 + 0,028\tau^3$ . При цьому встановлено, що за однакових умов проведення експериментальних досліджень щодо зниження концентрації диму/та величини температури за певний проміжок часу, у приміщенні з використанням удосконаленого переносного засобу димо- та тепловидалення в 2,2-2,85 рази ефективніше за існуючий засіб.

8. Виявлено залежності конструкційних особливостей лопатей вентилятора від теплофізичних параметрів газових середовищ пожежі дозволило збільшити продуктивність удосконаленого переносного засобу димо- та тепловидалення на 55 %.

9. Розроблено Рекомендації для підрозділів ДСНС щодо застосування переносних засобів димо- та тепловидалення під час гасіння пожеж.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Статті, що індексуються в міжнародних наукометричних базах (МНБ):*

1. **Prysiashniuk V., Nizhnyk V., Borysov A.** [etc.] Study of the dependence of productivity of smoke and heat extraction equipment on their technical characteristic. AD ALTA: Journal of Interdisciplinary Research. 2023. Vol. 13, Issue 2, Special Issue XXXV. pp. 222-226. *Видання включено до МНБ – Web of Science – Emerging Sources Citation Index (ESCI), The European Reference Index for the Humanities and the Social Sciences (ERIH PLUS), Cross Ref, EBSCO, Index Copernicus.*

2. **Prisyazhnuk V.**, Nizhnyk V., Zhartovskyi S., Neseniuk L. On the question of the economic effect during the implementation of an improved portable smoke and heat extraction equipment. *The scientific heritage*. Budapest, Hungary, 2023. No. 117 (117). pp. 59-63. *Видання включено до МНБ – Index Copernicus, Google Scholar, Scientific Indexing Service.*

**Статті у наукових фахових виданнях України:**

3. Антонов А.В., **Присяжнюк В.В.**, Кравчуновський В.П. Дослідження ефективності застосування дослідного зразка ручного пожежного диспергуючого ствола РСД-2. *Науковий вісник УкрНДІПБ*. К., 2002. № 2(6). С.171–174.

4. Шеверев Є.Ю., Згуря В.І., **Присяжнюк В.В.**, Башинський І.С., Міщенко С.А. Підвищення якості наукових досліджень і випробувань у сфері пожежної безпеки шляхом застосування прикладної комп'ютерної програми “EZ Data Logger”. *Науковий вісник УкрНДІПБ*. К., 2009. № 2(20). С.228–234.

5. **Присяжнюк В.В.**, Якіменко М.Л., Кухарішин С.Д. Аналіз сучасного стану парку пожежних і пожежно-рятувальних автомобілів в Україні та ефективності дій пожежно-рятувальних підрозділів. *Науковий вісник УкрНДІЦЗ*. К., 2013. № 1 (27). С. 68-74.

6. Кодрик А.І., Тітенко О.М., **Присяжнюк В.В.**, Семичаєвський С.В. Визначення характеристик та параметрів димососа в умовах самостійної та спільної роботи з іншими пристроями на основі математичної моделі. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. К., 2018. № 2 (6). С. 10-17.

7. Ніжник В.В., **Присяжнюк В.В.**, Бенедюк В.С., Жартовський С.В. Параметри засобів димо- та тепловидалення, що характеризують ефективність функціонування. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. ІДУ НД ЦЗ*. К., 2023. № 1 (15). С. 75-82.

8. **Присяжнюк В.В.**, Семичаєвський С.В., Осадчук М.В., Куртов О.В., Мілютін О.В., Виноградов С.А. Про розроблення методики експериментальних досліджень функціонального макету переносного засобу димо-та тепловидалення. *Науково-технічний збірник: Комунальне господарство міст. Серія: технічні науки та архітектура*. Харків, 2018. Т. 7, вип. 146. С. 157-162.

9. **Присяжнюк В.В.**, Мілютін О.В., Семичаєвський С.В., Якіменко М.Л., Осадчук М.В., Куртов О.В. Експериментальні методи оцінювання ефективності застосування переносних засобів димо- та тепловидалення. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. К., 2019. № 2 (8). С. 22-28.

10. **Присяжнюк В.В.**, Мілютін О.В., Семичаєвський С.В., Якіменко М.Л., Осадчук М.В., Куртов О.В. Щодо обґрунтування технічних вимог до переносних засобів димо- та тепловидалення Комунальне господарство міст. *Науково-технічний збірник: Комунальне господарство міст. Серія: технічні науки та архітектура*. Харків, 2019. Т. 5, вип. 151. С. 113-117.

11. **Присяжнюк В.В.**, Мілютін О.В., Семичаєвський С.В., Якіменко М.Л., Осадчук М.В., Куртов О.В. Рекомендації щодо застосування переносних засобів димо- та тепловидалення. *Науково-технічний збірник: Комунальне господарство міст. Серія: технічні науки та архітектура*. Харків, 2019. Т. 5, вип. 151. С. 118-122.

#### ***Патент на корисну модель***

12. Пат. 142725 Україна, МПК (2020.01), А62В 3/00. Переносний засіб димо- та тепловидалення/ Борис О.П., **Присяжнюк В.В.**, Семичаєвський С.В., Якіменко М.Л., Куртов О.В., заявник та патентовласник Український науково-дослідний інститут цивільного захисту. - № у 2019 12011, заяв. 18.12.2019; опубл. 25.06.2020, бюл. № 12.

#### ***Наукові праці, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації:***

13. **Присяжнюк В.В.**, Семичаєвський С.В., Кодрик А.І., Тітенко О.М. Розрахунок технічних параметрів переносних засобів димо- та тепловидалення. *«Сучасний стан цивільного захисту та перспективи розвитку»*: Тези доповідей 20-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції під час проведення XVII Міжнародного виставкового форуму «Технології захисту/ПожТех – 2018»: Київ: ІДУЦЗ, 2018. С. 372-375.

14. **Присяжнюк В.В.**, Мілютін О.В., Семичаєвський С.В., Куртов О.В., Осадчук М.В. Про розроблення рекомендацій щодо застосування переносних засобів димо- та тепловидалення. *«Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій»*: Матеріали Х Міжнародної науково-практичної конференції. Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ 2019, С.65-66.

15. **Присяжнюк В.В.**, Мілютін О.В. Семичаєвський С.В., Якіменко М.Л., Осадчук М.В., Куртов О.В. Рекомендації щодо застосування переносних засобів димо- та тепловидалення. *«Розвиток цивільного захисту в сучасних безпекових умовах»*: Тези доповідей 21-ої Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю під час проведення XVIII Міжнародної спеціалізованої виставки «Технології захисту/ПожТех – 2019». Київ, 2019. С. 224-227.

16. **Присяжнюк В.В.**, Мілютін О.В. Семичаєвський С.В., Якіменко М.Л., Осадчук М.В., Куртов О.В. Експериментальні дослідження функціонального макету переносного засобу димо- та тепловидалення з визначення коефіцієнту зменшення задимленості. *«Надзвичайні ситуації: безпека та захист»*: Матеріали ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ, 2019. С. 194-196.

17. **Присяжнюк В.В.**, Ніжник В.В. Обґрунтування сценаріїв проведення експериментальних досліджень засобів димо- та тепловидалення. *«Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій»*: Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції. Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ, 2023. С. 104-106.



18. **Присяжнюк В.В.**, Ніжник В.В., Михайлов В.М., Тітенко О.М. Математичне моделювання технічних параметрів засобів димо- та тепловидалення. *«Наукові відкриття та фундаментальні наукові дослідження: Світовий досвід»*: Матеріали II Міжнародної наукової конференції. Вінниця: 2023. С. 96-102.

#### *Інші публікації*

19. Ніжник В.В., **Присяжнюк В.В.**, Савченко О.В. Аналіз сучасного стану застосування засобів димо- та тепловидалення пожежно-рятувальними підрозділами. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І.Вернадського. Серія: Технічні науки*. К., 2023. Том 34 (73) № 1. С. 342-348.

20. **Присяжнюк В.В.**, Семичаєвський С.В., Осадчук М.В., Куртов О.В., Мілютін О.В., Кривошей Б.І. Переносні засоби димо-та тепловидалення для підвищення ефективності гасіння пожеж підрозділами ОРС ЦЗ ДСНС України. *Науковий вісник НЛТУ України*. Львів, 2018. Т. 28, № 6. С. 113-116.

### **АНОТАЦІЯ**

**Присяжнюк В.В.** Підвищення ефективності гасіння пожеж з використанням переносного засобу димо- та тепловидалення. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.02 “Пожежна безпека” (261 – Пожежна безпека). – Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, Київ, 2023.

У роботі розв’язано актуальне завдання пов’язане розкриттям залежності продуктивності переносних засобів димо- та тепловидалення від теплофізичних параметрів димогазових середовищ та відповідно особливостей конструкційних параметрів їх елементів, що є науковим підґрунтям для підвищення ефективності димо- та тепловидалення на пожежах за допомогою таких засобів. Розроблено математичну модель для обґрунтування конструктивних параметрів елементів переносного засобу димо- та тепловидалення, які забезпечують максимальну продуктивність такого засобу. Експериментальним шляхом виявлено і формалізовано у вигляді регресійної поліноміальної залежності зміни динаміки задимленості та температури в часі у разі використання удосконаленого переносного засобу димо- та тепловидалення. Виявлені залежності конструкційних особливостей лопатей вентилятора від теплофізичних параметрів газових середовищ пожежі дозволило збільшити продуктивність удосконаленого переносного засобу димо- та тепловидалення на 55 %.

**Ключові слова:** переносні засоби димо- та тепловидалення, тактична вентиляція, нагнітання повітря, зниження температури, щільності диму, розпилений струмінь води.

## ABSTRACT

***Prisyazhnuk V.V. Increasing the efficiency of extinguishing fires using a portable means of smoke and heat removal.*** – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Ph.D., specialty 21.06.02 – «Fire safety» (261 – Fire safety). – Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Kyiv, 2023.

The work solves the urgent task of establishing the pattern of changes in the performance of portable smoke and heat removal devices from the structural parameters of their elements as a scientific basis for improving their technical characteristics. A mathematical model was developed that describes the determination of the geometric characteristics of the fan to ensure the optimal operating modes of the portable smoke and heat removal device and the normalization of the temperature and air environment during firefighting, as a result of which regularities of the dependence of the smoke and heat removal device productivity on their technical characteristics were revealed.

The dissertation work, which is a completed scientific study, gives the results of solving an actual scientific and applied task, which consists in improving a portable means of smoke and heat removal by revealing the regularity of changes in the productivity of such means from their technical characteristics, while the following scientific and practical results were obtained:

- it was established that the characteristics of existing portable smoke and heat removal equipment do not meet the needs of fire and rescue units and require improvement;

- the most significant parameters that characterize the efficiency of the operation of portable smoke and heat removal devices are substantiated - this is, first of all, the productivity of its work, which depends, including on such constructive parameters of its elements as the angle of inclination and the area of the blade of the impeller of the fan;

- a mathematical model has been developed to substantiate the design parameters of the elements of a portable smoke and heat removal device, which ensure the maximum performance of such a device;

- it was established that the performance  $Q$  ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ) of the studied portable means of smoke and heat removal from the angle of inclination of the blade profile  $\beta$  (rad) and the surface area of the fan impeller  $S$  ( $\text{m}^2$ ) has the form of a two-factor regression model:

$$Q(\beta, S) = -56,17 + 15930 \cdot \beta + 81830 \cdot S - 7840 \cdot \beta^2 - 203000 \cdot S^2 - 33040 \cdot \beta \cdot S \text{ (m}^3 \cdot \text{h}^{-1}\text{)};$$

- a program and methodology for conducting experimental studies of the dependence of productivity on the structural parameters of elements of portable smoke and heat removal devices were developed, relevant experiments were conducted, during which, in particular, the adequacy of the developed model was confirmed;

- the design parameters of the elements of the portable smoke and heat removal device, which ensure maximum performance, are substantiated, namely: the angle of inclination of the fan blade is 0,71 rad, the surface area of the fan impeller is 0,143  $\text{m}^2$ .

- experimentally, it was discovered and formalized in the form of a regression polynomial dependence of changes in smoke  $\Theta(I)$  (B) and temperature  $\Theta(T)$  ( $^{\circ}C$ ) over time  $\tau$  (s) in the case of using an improved portable means of smoke and heat removal, which have the form:  $\Theta(I)=0,337-0,0877\tau-0,00696\tau^2-0,00014\tau^3$ ;  $\Theta(T)=222,2+52,7\tau-2,6\tau^2+0,028\tau^3$ . At the same time, it was established that under the same conditions of conducting experimental studies on reducing the concentration of smoke/and the temperature value in a certain period of time, indoors using an improved portable means of smoke and heat removal is 2.2-2.85 times more effective than the existing means.

- the detection of the dependence of the design features of the fan blades on the thermophysical parameters of the gas fire environment allowed to increase the productivity of the improved portable means of smoke and heat removal by 55%;

- recommendations for units of the State Emergency Service on the use of portable smoke and heat removal equipment during firefighting have been developed;

The results of the conducted research are implemented in the practical activities of the company PC "POZHMASHYNA" LLC regarding the production of improved means; of the scientific and testing center of the ISU of the ND Central Center in the field of testing products for fire-fighting purposes; Department of response to emergency situations of the State Emergency Situations in relation to the practical use of the Recommendations on the use of portable smoke and heat removal devices; Cherkasy Institute of Fire Safety named after Heroes of Chernobyl of the National Center of Ukraine in the educational process under the educational scientific program "Fire Safety" during the study of "Fire Tactics" disciplines.

The technical solutions proposed in the work are protected by the utility model patent "Portable smoke and heat removal device", No. 142725 dated 06/25/2020.

The calculation determined that the improved portable means of smoke and heat removal, in comparison with the existing means, makes it possible to achieve efficiency during fire extinguishing: to save 18 more people, to reduce the material damage from the fire in the amount of UAH 194,000. and reduce the time of removing dangerous fire factors to 4 minutes. The total amount of fire extinguishing efficiency that can be achieved in the case of using an improved portable means of smoke and heat removal during extinguishing of all fires in Ukraine that occur in houses and structures of various purposes during one year is 5 billion 965 million 500 thousand UAH.

**Key words:** portable means of smoke and heat removal, tactical ventilation, air injection, temperature reduction, smoke density, sprayed water jet.

Підписано до друку 12.12.2023.  
Формат 90×60/16. Папір офсетний.  
Об'єм 0,9 ум. друк. арк.  
Замовлення № 12/12/2023.  
Тираж 100 прим.

Надруковано ФОП Клименко Ю.Я.  
02125, м. Київ, вул. П. Запорожця, 4;  
тел. моб.: /066/ 260 76 86; e-mail: Colo69@ukr.net